

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-016733

(43)Date of publication of application : 19.01.1990

(51)Int.Cl.

H01L 21/302
G23C 16/50
G23F 4/00
G01N 21/62
H01L 21/205
H01L 21/31

(21)Application number : 01-112366

(71)Applicant : TEXAS INSTR INC <TI>

(22)Date of filing : 02.05.1989

(72)Inventor : BARNA GABRIEL G
ECONOMOU DEMETRE J

(30)Priority

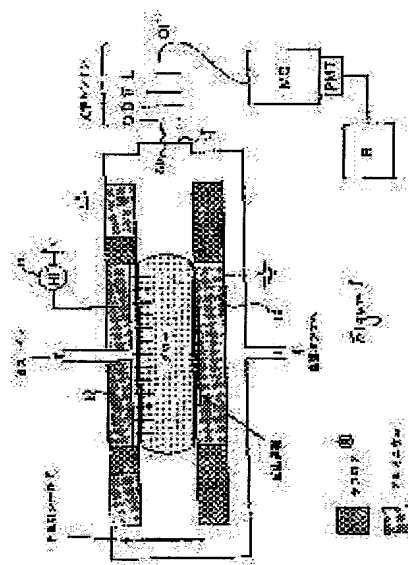
Priority number : 88 189572 Priority date : 03.05.1988 Priority country : US

(54) METHOD FOR MEASURING PLASMA CHARACTERISTIC IN SEMICONDUCTOR PROCESSING

(57)Abstract:

PURPOSE: To measure the plasma characteristic of an activated species concentration profile and the like in the whole surface of a semiconductor slice during processing by measuring the emission intensity of light from a plasma.

CONSTITUTION: An upper electrode 11 and a lower electrode 12 are provided for the parallel board single-wafer etcher of a parallel board plasma reactor 10. The temperatures of both electrodes are controlled by a closed loop system and the temperature of the lower electrode is monitored by a buried Fe-constantan thermocouple. Interior pressure and a gas flow rate are separately controlled by the closed loop system constituted of a pressure converter, an exhaust throttle valve and a controller. Power 13 is supplied to the upper electrode 11. Light discharged from the plasma passes through a quartz window 14, is converged through a pair of iris diaphragms D and a spatial resolution is realized. Light $h\nu$ from the plasma is converged to one end of an optical fiber OF and it is transmitted to the incident slit of monochrome meter MC. Then, a multiplier photoelectric tube PMT drive by a measuring unit measures the plasma characteristic of the whole surface of a semiconductor.



⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平2-16733

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)1月19日

H 01 L 21/302
C 23 C 16/50
C 23 F 4/00

E 8223-5F
8722-4K
A 7047-4K※

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全9頁)

⑮ 発明の名称 半導体プロセスにおけるプラズマ特性の測定方法

⑯ 特 願 平1-112366

⑰ 出 願 平1(1989)5月2日

優先権主張 ⑱1988年5月3日⑲米国(US)⑳189572

㉑発 明 者 ガブリエル ジー. パーナ アメリカ合衆国テキサス州リチャードソン, モーニングスター トレイル 1613

㉒発 明 者 デメター ジェイ. エコノモウ アメリカ合衆国テキサス州ヒューストン, ウインドミルレイク 9988

㉓出 願 人 テキサス インスツルメンツ インコーポレイテッド アメリカ合衆国テキサス州ダラス, ノース セントラル エクスプレスウェイ 13500

㉔代 理 人 弁理士 浅 村 皓 外2名
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

半導体プロセスにおけるプラズマ特性の測定方法

2. 特許請求の範囲

(1) プラズマ反応器の活性ガス種の濃度プロファイルを調節することができるように決定する方法であって、

プラズマからの光の放出強度を測定する段階と、
プラズマの測定した光の放出強度によって活性種の濃度勾配を調節する段階とを含む方法。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は半導体プロセスに関し、より詳細には、プラズマ・エッチやデポジション処置を含むプロセス中の半導体スライスの表面全域の活性種(active species)の濃度プロファイル等のプラズマ特性を測定する技術に関する。

従来技術

プラズマ・エッチング及びデポジションの問題

の内の一つは、スライスの表面全域でエッチング
或いはデポジションの均一性である。基本的なプラズマ特性、例えば反応濃度、イオン密度/エネルギー・プロファイル、プラズマ・シース電位等は、プロセスの速度、均一性、及び異方性等の従属変数を制御するということが一般に理解されているが、これらの特性は典型として市販のプラズマ反応器では監視されない。これらの従属変数を制御する通常のアプローチは、ガス流や圧力等の従属変数を監視し、制御することである。それから、直感力或いはある経験的モデルによってこれらを従属変数に相関させる。これらのアプローチは効果的であるが、プラズマ・プロセスの制御は基本的なプラズマ特性の認識によって高められる。

根本的には、あらゆるプラズマ反応器で利用できる唯一典型的なプラズマ特性化手段は終点検出システムである。これは、プロセス中の反応物或いは生成物種の放出に対応する単一波長のプラズマの強度を検査する分光手段である。この信号の強さの変化は、特定種の濃度の変化を示し、従っ

てエッチ処理の完了を示す。しかし、この方法はエッチングの均一性も基本的なプラズマ特性も何も示さない。

問題点を解決するための手段

本発明はプラズマ反応器に組み込まれる新しい測定技術を示すものである。本発明により、プラズマ反応器内で処理される半導体スライスの表面全域の活性種の濃度プロファイル測定し、かつその制御を可能にする。このパラメータは、関連する反応の均一性を制御する多くのパラメータの内のほんの一つである。このパラメータを測定する能力は、プラズマ反応の均一性を独立して高める。

この方法は、スライスの表面に平行なプラズマからの光のシリンダーの放出強度の測定に関する。これは光学トレインで行われる。プラズマは、より多くの絞りの内の一つと、光学フィルター、及びモノクロメータに入力した光ファイバーに光を向ける焦点レンズとを通して観測する。

代わりに、アルゴン等の第2のガスを光量測定

ガスとして用いた場合、モノクロメータは、ビームスプリッター、及び $A r^*$ 及び X^* の輝線に対応するフィルター付きフォトダイオード2個に置換えることができる。水平面におけるこのトレインの平行移動により、特定の輝線の強度を半導体スライスの表面全域にプロファイルする。光量測定、少数の $A r$ のプラズマへの混入、この混入により X^* 種対 $A r^*$ の強度を測定するが、及び適切な数学的変換(アベル変換)を用いて、 X^* の濃度プロファイルをスライスの表面全域に定める。

本発明の方法及び装置を用いると、種 X^* の濃度プロファイルを監視し、圧力や流れ等の独立パラメータの制御によりそれを調整することができる。スライス周辺のハードウェア素子及びプラズマの反応性等の他のパラメータも同様に濃度プロファイルに影響を及ぼすことが可能である。

実施例

第1図により本発明で使用する平行板プラズマ反応器10を説明する。平行板板状エッチャーには、例えば直径13.1 cmのハードに陽極処

理したアルミニウムのパワード・シャワー・ヘッド上部電極11が、直径13.9 cmのアルミニウム接地下部電極12から約2.2 cm離れて保持されている。

両電極の温度は閉ループ・システムで制御し、下部電極の温度は埋込みFe-コンスタンタン熱電対で監視する。ガスは2段回転羽根式ポンプによって反応器にポンプ注入し、ベース圧力は1 mTorr以下に維持する。室内圧力及びガス流量は、圧力変換器、排気絞り弁、及び制御器から構成される閉ループ・システムによって別々に制御する。ガス流量は質量流量制御器によって調節する。追加の乾性酸素及びアルゴン(光量計として)をこのシステムに用いる。上部電極への電力13は周波数13.56 MHzである。自動マッチング・ネットワークを用いて反射電力を最小にして順方向電力の1%以下にする。順方向電力と反射電力の両方は方向ワット計によって監視する。プラズマ放出からの光は石英窓14を通り、一對のアイリス絞りDを通して集められ、空間的分解能

を達成する。プラズマからの光 $h\nu$ は光ファイバーOFの一端に集束され、1200グループ/mmの回折格子を有するモノクロメータMCの入射スリットに透過される。この光は射出スリットを通過して、測光器によって駆動される増倍型光電管PMTによって検出される。長い通過フィルターF($>495\text{ nm}$)を用いて、発光スペクトルへの二次干渉を防ぐ。

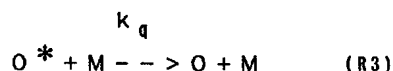
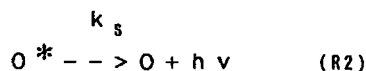
下記は酸素プラズマ・システムの分析であるが、本発明の方法を単一のシステムに限定しようとするものではなく、単なる一例として用いるものである。以下のシステムの目的は活性種の濃度プロファイルを説明し、かつプラズマ動作状態への依存を示すことである。酸素プラズマを本システムに使用するが、これはグロー放電反応が他のシステムに比べてよく知られているからである。酸化銀(Ag_2O)膜を反応基板として用いる。この膜は、下部電極の部分に銀塗装で被覆することによって作る。コーティングを酸素プラズマにさらすと、有機結合剤が燃焼して残りの銀が黒色酸化

銀 (black silver oxide) に変わる。酸化銀は原子状酸素の表面再結合、すなわち酸素プラズマの主要エッチング用腐食液種方向への触媒であると知られている。酸化銀/酸素プラズマ・システムは薄膜のエッチングをシミュレートすると信じられている。エッチング可能な材料 (例えば、酸素プラズマの場合のポリマー) の代わりに酸化銀膜を用いることは幾つかの利点がある。第一に、プラズマの接地への結合は、電極にあるシリコン・ウェハを通して結合するプラズマの可能な非均一性に比べてほとんど均一である。第二に、反応生成物によるプラズマの汚染がない。

酸化銀の表面反応は単に原子状酸素の再結合であり、分子性酸素を生じる。ゆえに、放電は純酸素におけるものとしてみなす。このため、純酸素プラズマ用のデータを計算用に用い、どんな反応濃度勾配も、 Ag_2O 膜と周囲の電極表面との間の反応性の差によるものである。

光量計ガスを有する光波放出分光 (OES) を施して、反応濃度プロファイルを得る。OES

では、ある種によって放出される光の強度はその種の基底状態濃度に比例し得る。適切な反応は、



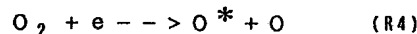
のように記すことができる。

反応 (R1) は電子衝突による種 O の励起である。励起された種 O^* は自然放出 (R2) 或いは他の種との衝突による消滅 (R3) によって崩壊することができる。

もし反応 (R3) を無視することができれば、自然放出強度は基底状態濃度 $[O]$ と比例する。

$$i_0 \sim k_e n_e [O] \quad (1)$$

上述の分析は、電子衝突励起を、 O^* を生じる主機構とする。例えば、



型の反応は、対応する O^* -原子が興味のある波

長で放出する場合、光量測定を無効にしてしまう。しかし、等式 (1) では、いわゆる励起効率 $k_e = k_e n_e$ が反応器の動作状態に依存する。この変化を説明するために、興味のある種と同様な励起しきい値及び断面を有する少量の不活性ガス (光量計) を、反応器に導入する前に酸素に加える。この様に、光量計及び興味のある種のそれぞれの k_e の値は動作状態と共に変化するが、それらの比はほとんど一定のままである。このため、等式 (1) と同様の等式を光量計ガス (例えば Ar) に記すことにより、それらの比の結果は

$$\frac{i_0}{i_{Ar}} = \frac{q [O]}{[Ar]} \quad (2)$$

となり、ここで q は比例定数で、 $[Ar]$ は光量計の既知の濃度である。 i_0 及び i_{Ar} を適切な波長で測定することにより、 $[O]$ の相対的な変化を得ることができる。本例の測定において、8446 オングストローム O-原子の線及び 7540 オングストロームの Ar 線を使用した。5% モル分率の光量計ガスのを使用した。

第2図は、電極に平行な一定の平面 (例えば $z = z_0$) の放射状に対称なグローの断面を示す。光学トレインは図示のごとく小さな円筒形のボリュームから光を集める。オブティック (光学機械のレンズ) を x 軸と平行に移動させることにより、種々のところからの光が集められて、強度 $I(x, z_0)$ が測定される。後者は局所放出強度 $i(r, z_0)$ と関連しており、

$$I(x, z_0) = \int_x^R \frac{r \Omega(x, r)}{\sqrt{r^2 - x^2}} i(r, z_0) dr \quad (3)$$

の様になり、ここで

$$\Omega(x, r) = \exp\{-\alpha(\sqrt{1-x^2} - \sqrt{r^2-x^2})\} + \exp\{-\alpha(\sqrt{1-x^2} + \sqrt{r^2-x^2})\} \quad (4)$$

である。

等式 (3) は一定の吸収係数 α でトラッピングする放射を説明し、 α が十分に小さい場合、等式 (3) は、

$$I(x, z_0) = \int_x^R \frac{r i(r, z_0) dr}{\sqrt{r^2 - x^2}} \quad (5)$$

まで減少する。最後の積分は、アベル変換を適用することにより逆になり、

$$i(r, z_0) = -\frac{1}{\pi} \int_r^R \frac{I'(x, z_0) dx}{\sqrt{x^2 - r^2}} \quad (6)$$

を生じ、ここで $I'(x, z_0) = dI(x, z_0)/dx$ である。等式(6)は $I(x, z_0)$ の測定値を用いて数的に統合(積分)する。このようにして、局所強度プロファイルを得る。

結果のプロファイル(特に $r=0$ に近いもの)は、 $I(x, z_0)$ 実験データのばらつきに敏感であることがわかり、この敏感性はデータをならすことにより最小になる。

所定の軸上の位置 $z=z_0$ では、放射状の放出強度プロファイル $i(r, z_0)$ は O-原子と Ar の両方について得る。それから、基底状態の O-原子の濃度プロファイルを求めるために、等

グ用腐食液製品が減少するためより高電力で高くなる。

濃度プロファイルの劇的な変化は、下部電極部を Ag_2O で、75 mm の直径を有する同心ディスク(装荷反応器)の形をとって覆うと、第3b図の様に生じる。O-原子の濃度プロファイルの「傾斜」は反応表面上に生じ、大きな濃度勾配は、特に活性表面と比較的不活性表面との間の境界のまわり(例えば3.75 cmの位置のまわり)に生じる。電力が増加すると、反応濃度勾配は一層急になる。これは、高電力で、反応がより早く生じ、拡散することができるからである。更に、反応濃度は増加した反応の損失のため装荷反応器の場合、実質的により低い。

圧力の影響を第4図に示す。より低い圧力で、拡散性は増加($D \sim P^{-1}$)し、濃度勾配は小さくなる。しかし、反応濃度は圧力を低下させると減少する。

流量の影響を第5図に示す。より高い流量はより良い均一性という結果になるが、同時にエッチ

式(7)を用いる。

$$C_O(r, z_0) = q C_{Ar} \frac{i_O(r, z_0)}{i_{Ar}(r, z_0)} \quad (7)$$

Ar は反応性ではないので、 C_{Ar} は位置とは無関係であるということに注意されたい。

第3-6図は実験データを理想的な状態即ち模範の予測(実験)と比較して示す。この実験データは、空間的に解像した光波放出分光学によって得た。実験条件は次のように、圧力は1-3トル、電力は20-50ワット、ガス流量は25-100 sccm、反応表面の直径は7.5-10 cm、周波数は13.56 MHzであった。

第3a図は、プラズマへの3種の電力値の場合の半径の位置の関数としての原子状態素のモル分率を示す。第3a図は空の反応器、すなわち Ag_2O 膜が電極表面に何もない場合である。濃度は、反応器の中央近くでほとんど均一であり、さらに離れて単調に減少する。濃度は、エッチン

グ速度が低下する。活性表面を同様な反応性のもの で取巻くことの効果は第6図に示し、ここで、 Ag_2O コーティングの2つの異なる直径から生じる濃度プロファイルを比較する。濃度プロファイルは、増大したローディングのためのより低い反応濃度を犠牲にして、より大きな直径のコーティングの場合により均一になる。

基板近くの軸上のO-原子の濃度勾配は、無視できる表面反応を意味する空の反応器においては非常に弱い。大きな濃度勾配は装荷反応器において観測され、早い表面反応を意味する。

エッチング均一性は、(表面再結合反応によって)ウェハを取巻く電極がエッチング用腐食液種に対して反応性である場合に向上する。これは第6図から暗示することができ、ここで「10 cmの半径」の膜を、7.5の半径の膜とそれを囲む別の2.5 cmの同一の反応性の膜として見なす。酸素の濃度プロファイルは、この「同一反応性の外部領域」によってより均一にされる。基板電極領域全てが同一の反応性を有する場合でも半径の

不均一性が共通の場合、この結果はレインバーク型半径流反応器と対照的である。

反応選択性は、

$$S = \frac{\text{ウェハを取巻く表面の反応速度}}{\text{ウェハ表面の反応速度}} \quad (8)$$

の様に定められる。

$S < 1$ の場合、「ブルズアイ（半径レンズ）」フィルム・クリアリング・パターンが結果として生じる。 $S > 1$ の場合、逆のフィルム・クリアリング・パターンが結果として生じ、すなわち、エッチング速度がウェハの中央からウェハの周辺に向かって単調に低下する。 $S = 1$ のときエッチングが均一であるという事実は、プラズマの半径がウェハの半径と等しい場合にエッチングが均一であるということの意味する。これはウェハの半径を超える量のエッチング用腐食液種の源が何もないからである。プラズマの半径がウェハの半径よりも大きい場合にエッチング均一性を向上させる方法は、ウェハを取囲む電極領域を、ウェハの反応性と同じ反応性を有する材料で被覆することである。

の表面全域の光の輝線をプロファイルする方法。

(5) 第(2)項に記載した方法において、より多くの絞りの内の一つと、光学フィルター、及びモノクロメータに入力した光ファイバーに光を向ける焦点レンズとを通してプラズマを観測する方法。

(6) 第(1)項に記載した方法であって、活性ガス種に加えてガスをプラズマ反応器に導入して、光量計として役立つ段階を含む方法。

(7) 第(6)項に記載した方法において、2ガスの光の放出を、ビーム・スプリッター、及び2ガスの光学輝線に対応する2個のフォトダイオードと2個の光学フィルタとを用いて測定する方法。

(8) 第(6)項に記載した方法において、活性ガス種に加えて導入するガスがアルゴンである方法。

(9) 第(8)項に記載した方法において、光量計が6%モル分率までの量で導入される方法。

(10) 第(1)項に記載した方法において、少量の不活性ガスをプラズマに導入して、プラズマの光の強度と不活性ガスの光の強度とを比較する方法。

(11) プラズマ反応器の活性ガス種の濃度プロ

ファイルを決定制御する方法であって、光量測定ガスを反応器のプラズマに導入する段階と、

ガス種によって放出された光の強度を光量測定ガスによって放出された光の強度と比較して測定する段階と、

種ガスと光量測定ガスとの比較によって、活性種ガスの濃度勾配を調節する段階とを含む方法。

(12) 第(11)項に記載した方法において、半導体スライスの表面がエッチング/デポジションによって変更されており、プラズマからの光の放出強度の測定が、半導体スライスの表面に平行なプラズマからの光のシリンダーに関する方法。

(13) 第(12)項に記載した方法において、プラズマからの光の放出強度の測定が、光学トレインで行われる方法。

(14) 第(13)項に記載した方法において、光学トレインを水平面で平行移動させて、半導体スライスの表面全域の光の輝線をプロファイルする方法。

(15) 第(14)項に記載した方法において、光学トレインの測定を水平面で平行移動させて、半導体スライスの表面全域の光の輝線をプロファイルする方法。

(15) 第(12)項に記載した方法において、より多くの絞りの内の一つと、光学フィルター、及びモノクロメータに入力した光ファイバーに光を向ける焦点レンズとを通してプラズマを観測する方法。

(16) 第(11)項に記載した方法であって、活性ガス種に加えてアルゴンをプラズマ反応器に導入して、光量計として役立つ段階を含む方法。

(17) 第(16)項に記載した方法において、2ガスの光の放出を、ビーム・スプリッター、及び2ガスの光学輝線に対応する2個のフォトダイオードと2個の光学フィルタとを用いて測定する方法。

(18) 第(11)項に記載した方法において、光量計ガスが6%モル分率までの量で導入される方法。

(19) より多くの種ガスのうちの一つを利用するプラズマ反応器において半導体スライスの表面全域に均一にエッチング或いはデポジションを行う方法であって、

半導体スライスの表面全域の活性種ガスの濃度プロファイルの均一性を測定する段階と、

ガス種に加えてガスをプラズマ反応器に導入して、光量計として役立つ段階を含む方法。

(25) 第(24)項に記載した方法において、2ガスの光の放出を、ビーム・スプリッター、及び2ガスの光学輝線に対応する2個のフォトダイオードと2個の光学フィルタとを用いて測定する方法。

(26) 第(24)項に記載した方法において、活性ガス種に加えて導入するガスがアルゴンである方法。

(27) 第(24)項に記載した方法において、光量計が6%モル分率までの量で導入される方法。

(28) 第(19)項に記載した方法において、少量の不活性ガスをプラズマに導入して、プラズマの光の強度と不活性ガスの光の強度とを比較する方法。

(29) プラズマ反応器において半導体スライスの表面全域の活性種の濃度プロファイルを決定する装置であって、プラズマ反応器内でプラズマ放出を観測する光学システムと、半導体スライスの表面全域でプロファイルしたプラズマからの少な

くとも1本の特定の輝線の強度を測定するモノクロメータと、半導体スライスの表面全域の濃度プロファイルを調節して半導体スライスの表面の均一なエッチ/デポジションを提供する手段とを含む装置。

(20) 第(19)項に記載した方法において、半導体スライスの表面がエッチングされており、プラズマからの光の放出強度の測定が、半導体スライスの表面に平行なプラズマからの光のシリンダーに関する方法。

(21) 第(20)項に記載した方法において、プラズマからの光の放出強度の測定が、光学トレインで行われる方法。

(22) 第(20)項に記載した方法において、光学トレインを水平面で平行移動させて、半導体スライスの表面全域の光の輝線をプロファイルする方法。

(23) 第(20)項に記載した方法において、より多くの絞りの内の一つと、光学フィルター、及びモノクロメータに入力した光ファイバーに光を向ける焦点レンズとを通してプラズマを観測する方法。

(24) 第(19)項に記載した方法であって、活性

くとも1本の特定の輝線の強度を測定するモノクロメータと、半導体スライスの表面全域の濃度プロファイルを調節して半導体スライスの表面の均一なエッチ/デポジションを提供する手段とを含む装置。

(30) 第(29)項に記載した装置において、光学システムが1個或いはそれ以上の絞りと、少なくとも1個のフィルター、及びプラズマ反応器からモノクロメータにプラズマ放出を向けるレンズとを含む装置。

(31) 第(29)項に記載した装置において、光量計ガスが反応器に導入され、かつ、ビーム・スプリッターと、2個のフォトダイオード、及び少なくとも2個のフィルタとを含み、活性種からの輝線を測定し、光量計ガスが反応器内でプラズマを形成することを含む装置。

(32) プラズマ反応器の活性ガス種の3次元濃度プロファイルを調節することができるよう決定する方法であって、

プラズマからの光の放出強度を測定する段階と、

プラズマの光放出の測定した強度によって活性種の濃度勾配を調節する段階とを含む方法。

(33) プラズマ反応器10の半導体スライスの表面全域の活性種の濃度プロファイルを測定する装置及び方法を開示するが、これは半導体スライスの表面全域のエッチ及びデポジションの均一性を可能にする。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明で使用する平行板プラズマ反応器を示す。

第2図は選択した平面の放射状に対称なグローの断面図である。

第3a図は空の反応器内の放射状の位置に対する原子状酸素のモル分率のプロット図である。

第3b図は装荷反応器内の放射状の位置に対する原子状酸素のモル分率のプロット図である。

第4図は3.75cmの反応膜半径の装荷反応器内の放射状の位置に対する原子状酸素のモル分率のプロット図である。

第5図は第4図のようなプロット図であるが、

異なる条件下のものである。

第6図は2種の反応膜半径の装荷反応器内の放射状の位置に対する原子状のモル分率のプロット図である。

主な符号の説明

10：プラズマ反応器

11：上部電極

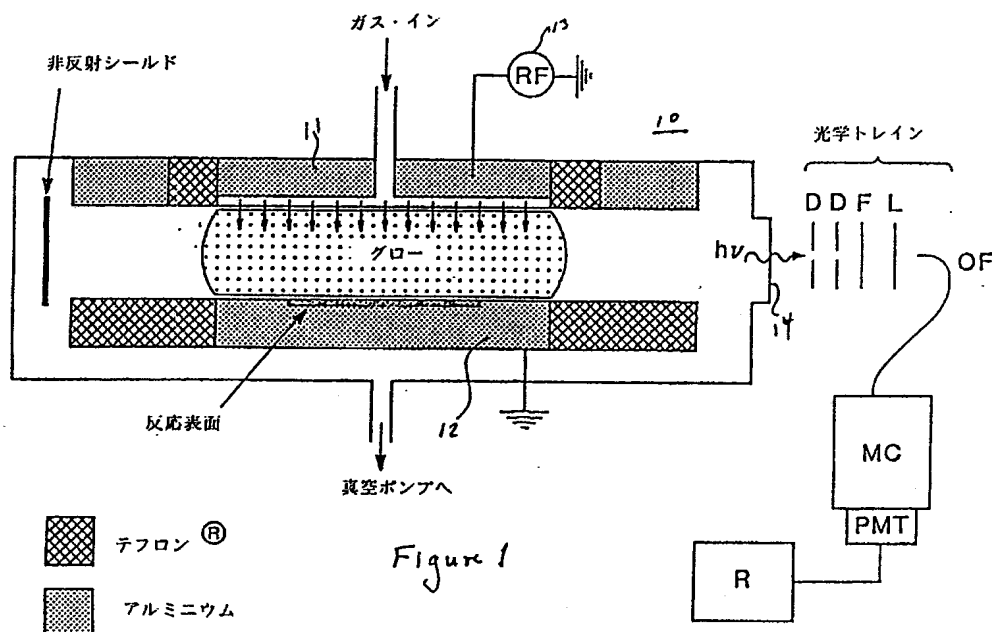
12：下部電極

14：石英窓

D：アイリス絞り

F：通過フィルター

代理人 浅 村 皓



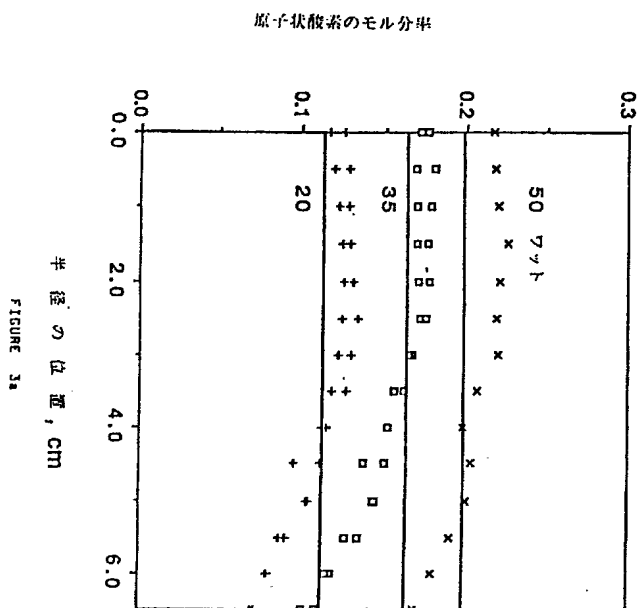
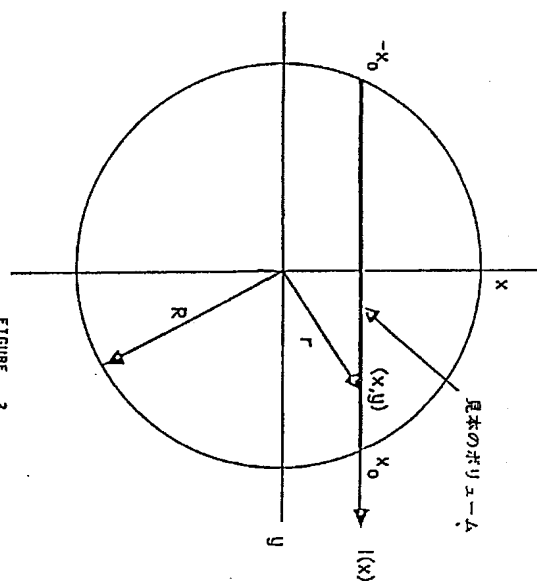


FIGURE 3a

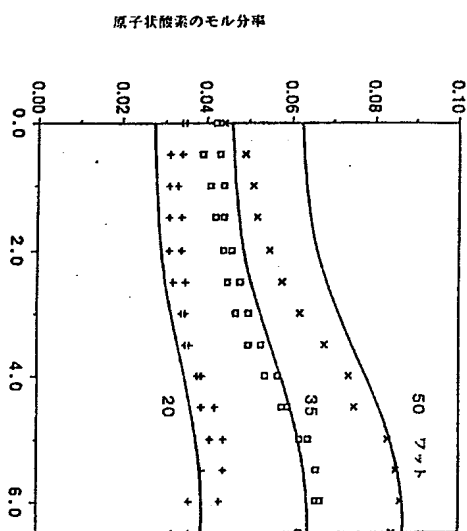


FIGURE 3b

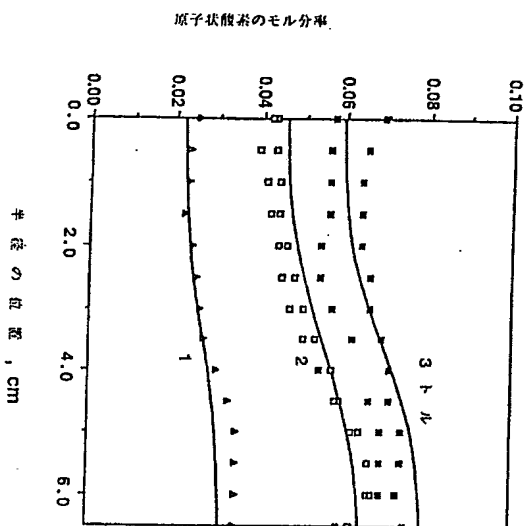
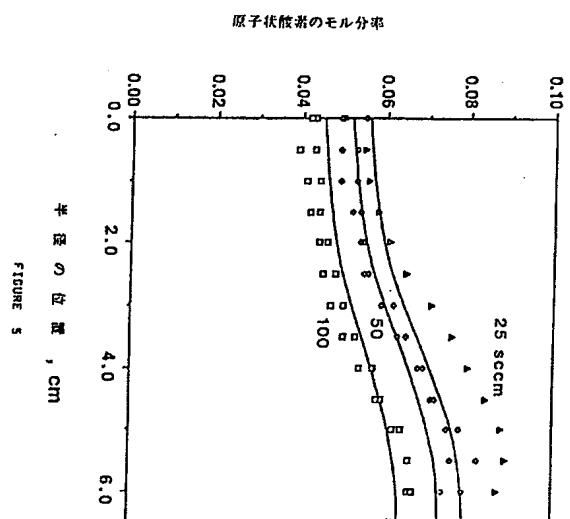
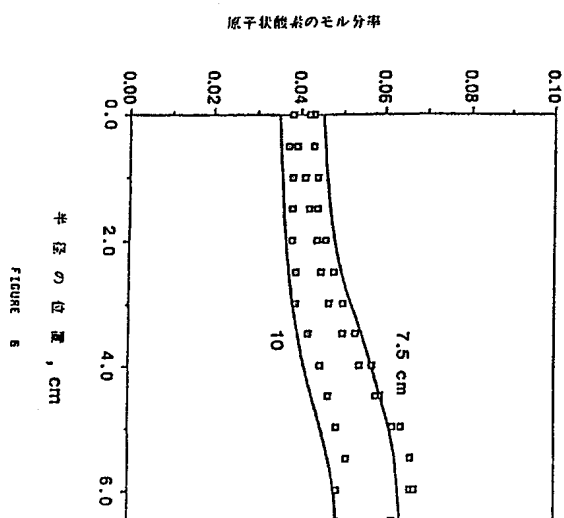


FIGURE 4



第 1 頁の続き

©Int. Cl. ⁵

G 01 N 21/62
H 01 L 21/205
21/31

識別記号

Z
C

庁内整理番号

7458-2G
7739-5F
6824-5F